

团体标准

T/EERT XXXX—2025

关键物种生境适宜性评价与监测技术规范

Technical Standards for Habitat Suitability Assessment and Monitoring of Keystone Species

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

浙江省生态与环境修复技术协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本原则 2

5 准备工作 2

6 物种生境适宜性评价方法 3

7 物种生境适宜性评价成果 6

8 质量控制 7

附录 A（资料性） 地面调查记录表 8

参考文献 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件中的某些内容可能涉及专利，文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由浙江省生态与环境修复技术协会提出。

本文件由浙江省生态与环境修复技术协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：浙江弄潮儿智慧科技有限公司、浙江大学、华东师范大学。

本文件主要起草人：田元、刘妙燕、于明坚、沈国春。

本文件为首次发布。

关键物种生境适宜性评价与监测技术规范

1 范围

本文件规定了关键物种生境适宜性评价与监测的基本原则、准备工作、物种生境适宜性评价方法、物种生境适宜性评价成果、质量控制等内容。

本文件适用于关键物种生境适宜性评价与监测，分析研究区域内关键物种分布与关键生境因子之间的联系，明确其生境特征和潜在适生区。其他以生境适宜性为基础的产品制作与应用可参照有关部分内容执行。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

珍稀濒危物种 Endangered species

泛指珍贵、濒危或稀有的野生动植物，狭义上指《濒危野生动植物物种国际贸易公约(Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, CITES)》附录、世界自然保护联盟(International Union for Conservation of Nature, IUCN)所列物种以及国家和地方重点保护的野生动关键。

3.2

常见种 Common species

泛指生态调查中分布范围广，多度和频度较高的物种。常见种是群落物种丰富度格局的指示者，是生态系统功能的主要贡献物种，因此也是具有较大的保护价值。

3.3

关键物种 Keystone species

描述那些在一个生态系统中扮演至关重要角色的物种，这些物种的存在和活动对生态系统的结构和功能有着显著的影响。如果这些关键物种被移除，可能会导致生态系统发生根本性的变化。关键物种一般包含对多样性有显著影响的珍稀濒危物种和对生态系统功能有决定性作用的常见种。

3.4

生境 Habitat

指生物的个体、种群或群落生活地域的环境。

3.5

生态位 Ecological niche

指生态系统中，一个种群在时间空间上所占据的位置及其与相关种群之间的功能关系与作用。

3.6

生境因子 Habitat factor

指环境中对生物的生长、发育、生殖、行为和分布等有着直接或间接影响的环境要素，如温度、降水等。

3.7

物种潜在分布 Species potential distribution

指一个物种可生存繁殖的区域。这些区域一定包含现有物种真实的分布区域，也可能包含与该物种现有生境类似的环境。

3.8

物种分布模型 Species distribution model

也称为生态位模型、栖息地模型、预测性栖息地分布模型和分布图，主要利用物种的空间分布数据与生境因子数据，依据特定的数学算法计算物种的生态需求，并以概率的形式反映某空间位置上物种出现的概率或生境适宜程度。

3.9

最大信息熵模型 Maximum entropy model

是一种基于熵最大原理的物种分布模型，能够从不完整的已知信息中作出推断或预测。利用物种空间分布与研究区域的气候、地形、土壤等生境因子的非随机关系，在满足一定限制条件的情况下，找到熵最大的概率分布作为最优分布，预测物种适生区，并构建其空间分布模型。在众多物种分布模型中，MaxEnt模型简单易用、界面友好，与其他模型相比，MaxEnt模型具有运算结果稳定、运算时间短等优点，被广泛应用于动植物生长环境分析和潜在分布区预测等。

4 基本原则

4.1 统一性、准确性原则

应统一不同物种生境适宜性评价标准，运用科学可靠的方法，确保物种生境适宜性评价的统一性和准确性。

4.2 实用性、可行性原则

应针对不同大小的评估区域，不同大小的种群和不同分布形式的物种生境适宜性评价提供技术参考，确保物种生境适宜性评价的实用性和可行性。

4.3 实操性、推广性原则

应针对不同大小的评估区域，不同大小的种群和不同分布形式的物种生境适宜性评价提供技术参考，确保物种生境适宜性评价的实用性和可行性。

5 准备工作

5.1 组织准备

制定工作方案，明确目标任务、职责分工、工作要求、实施步骤、进度安排、质量管理、主要成果等，组建专业物种调查与生境监测队伍，设立质量管理机构。

5.2 技术准备

制定技术方案和技术规程，明确调查与监测方法、技术标准、操作流程、成果要求和质量管理措施等。

5.3 资料准备

应调查收集的有关资料包括但不限于：

- 调查区域范围边界，可转化为 kml 文件格式，并导入手持导航设备；
- 调查区域的数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)以及以此为基础得到的坡度、坡向等地图；
- 调查区域内防火道、林间小道等非公开路线的路线图；
- 调查区域的历史物种普查资料，包括物种名录，珍稀濒危物种大致分布区域，《中国植物志》或当地植物志；
- 调查区域详细的气象资料及土地利用类型分类数据。

5.4 仪器准备

- 应准备的仪器包括但不限于：
- 土壤水分、温度、盐分三参数速测仪；
 - 便携小型气象站，包含温湿度大气压等参数监测功能；
 - 便携式 GPS 定位导航仪(水平定位误差 2 m 以内)；
 - 望远镜；
 - 土壤深度测量仪(量程大于 2 m)；
 - 便携式小型无人机；
 - 卫星电话。

6 物种生境适宜性评价方法

6.1 技术流程

物种生境适宜性评价的技术流程见图1。

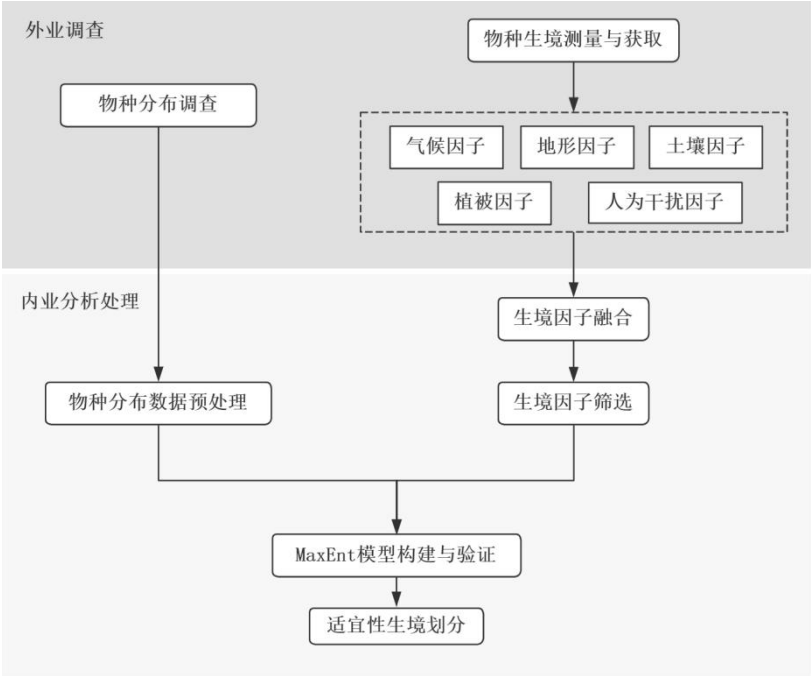


图 1 物种生境适宜性评价技术流程图

6.2 外业调查

6.2.1 物种分布调查

6.2.1.1 前期沟通协调

为保证野外物种分布和生境调查的顺利进行，应在实际调查前，与有关部门沟通协调。若调查区域涉及保护区内部，应提前申请进山证等许可文件。同时，应聘请熟悉当地地形及线路的向导，调取防火道、林间小道等信息，便于后期设计合理、高效及安全的调查路线。

6.2.1.2 调查样线预设点布置

依据调查区域范围排除非目标区域后，采用空间随机分布设置调查路线预设点。预设点密度依据目标物种在调查区域的潜在种群密度设置。如果目标物种是优势种，则保证预设点密度在1个/km²即可；如果目标物种是珍稀濒危物种，则需在上述预设点密度基础上，针对珍稀濒危物种可能分布的区域提高预设点密度，保证该区域预设点密度不低于10个/km²。若调查区域存在已有的调查样方，则可将已有样方的位置加入预设样点中。

6.2.1.3 调查样线规划

依据已设置的随机样线预设点，结合前期踏查获得的林区小路分布以及地形地貌资料，合理规划调查样线，使得调查样线覆盖所有预设点。规划调查样线时，总路线应短、海拔落差应小，应尽可能利用原有山间小道，避免悬崖和大沟谷等无法跨越区域。

6.2.1.4 物种调查小组组建及分工

调查人员一般以3人为一组。每组至少包含一位当地向导，以降低在山间迷路与发生意外的可能性；同时向导负责依据实际地形微调调查线路，提前踏查调查线路上可能的蛇虫风险，移除调查线路上带刺藤本等，保证调查线路舒畅安全。其余人员负责在调查样线两边寻找目标物种个体。

6.2.1.5 目标物种分布调查

当发现目标个体后，记录目标个体的空间坐标，水平定位误差小于2 m。同时测量目标个体的生境参数，详见下一小节。针对高大乔木且具有明显颜色纹理特征的目标物种，可采用小型无人机协助搜索预设点附近的潜在目标物种个体，并记录这些潜在个体的空间位置。随后采用GPS导航仪等辅助工具步行到潜在目标个体区域，确认潜在目标个体是否为目标物种。若是目标物种，则记录目标个体的空间坐标并测量目标个体的生境数据。

6.2.2 物种生境测量与获取

6.2.2.1 生境因子选择

生境变量的确定主要通过实地调查，先由专家经验初步确定，再结合相关性检验和显著性检验进一步确定主要生境变量。常见的生境因子主要有以下几类：气候因子、地形因子、土壤因子、植被因子与人为干扰因子，常见的可供选择的生境因子见表1。

表 1 常见的可供选择的生境因子

因子类型 Data type	生境因子 Habitat factor	单位 Unit	说明 Descriptions
气候因子 Climate factor	年均气温 Annual mean temperature	×10 °C	指全年各日的日平均气温的算术平均值。在实际中年平均温度常用月平均气温来计算
	昼夜温差月均值 Mean diurnal range	×10 °C	一个月内每日气温昼夜差值相加(绝对值)除以天数
	气温季节性变化标准差 Temperature seasonality	/	四季平均气温变化的标准差，反映一年内气候的变化程度
	最暖月最高气温 Max temperature of warmest month	×10 °C	一年中月平均温度最高月份为最暖月，该因子指最暖月中的气温最高值
	最冷月最低气温 Min temperature of coldest month	×10 °C	一年中月平均温度最低月份为最冷月，该因子指最冷月中的气温最低值
	年降水量 Annual precipitation	mm	一年降水量的总和
	降水量变异系数 Precipitation seasonality	%	衡量一年中月降水量观测值的变异程度，反映年降水量的变化大小
	最湿月降水量 Precipitation of wettest month	mm	一年中月平均降水最高月份为最湿月，该因子指最湿月的总降水量
	最干月降水量 Precipitation of driest month	mm	一年中月平均降水最低月份为最干月，该因子指最干月的总降水量
地形因子 Terrain factor	海拔Elevation	m	指地面某点高出海平面的垂直距离
	坡度Slope	°	表征地表单元陡缓的程度，通常用坡面垂直高度与水平方向距离的比例(即坡角的正切值)计算
	坡向Aspect	°	指坡面法线在水平面上的投影方向
	凸度Convexity	m	反映地形的凹凸程度，正值表示向上凸的区域，负值为向下凹的区域，零值为平坦区域

因子类型 Data type	生境因子 Habitat factor	单位 Unit	说明 Descriptions
土壤因子 Soil factor	土层厚度 Soil thickness	cm	可通过土壤深度测量仪测量获取
	表层土壤温度 Surface soil temperature	℃	指深度为0 cm~20cm范围内的土壤温度
	表层土壤湿度 Surface soil moisture	%	指深度为0~20cm范围内的土壤湿度
植被因子 Vegetation factor	归一化植被指数 Normalized difference vegetation index, NDVI	/	体现植被密度和健康状况的一个卫星遥感植被指数，用于定性和定量评价植被覆盖及其生长活力
	植被类型 Vegetation type	/	参考《中国植被分类系统修订方案》进行植被不同类型的划分
人为干扰因子 Human interference factor	道路网密度 Density of road network	km/km ²	表征在一定区域内，道路网的总里程与该区域面积的比值
	距道路距离 Distance from road	km	表征每一个点距离最近的道路的距离
	距居民点距离 Distance from residential area	km	表征每一个点距离最近的居民点的距离
	距水域距离 Distance from water area	km	表征每一个点距离最近的水域的距离
	土地利用类型 Land-use type	/	指土地利用方式相同的土地资源单元，根据土地利用的地域差异划分，是反映土地用途、性质及其分布规律的基本地域单位

6.2.2.2 气候因子获取

理想的气候因子数据，应通过在评估区域内建立多个小型气象站获取，或基于已有的多个气象站历史资料获得。在没有上述条件的情况下，可组建多个野外调查小组，携带便携式小型气象站，通过整点同步测量获取。精度更低一些的气候因子数据也可通过在线数据库(如WorldClim数据库(<http://www.worldclim.org/>))下载获得。最后依据原始气候因子数据，通过空间插值方法获得研究区域内空间上连续的栅格数据。

6.2.2.3 地形因子获取

地形因子数据(如坡度、坡向)可基于评估区域的数字高程模型(Digital elevation model, DEM)，使用ArcGIS内的空间分析工具(Spatial analyst tools)，转换提取出研究区的坡度数据图层、坡向数据图层等。精度较低的DEM可在例如中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台等开放数据库下载获得；高精度DEM数据可通过在野外补测一些地形变化区域的海拔数值后插值获得，亦可直接向相关部门申请。

6.2.2.4 土壤因子获取

土壤因子数据可通过地面调查获得，例如使用土壤三参数速测仪，使用前注意仪器金属探头表面的清洁，使用时将仪器的金属探头垂直顺时针插入湿润的土壤中至少4 cm~5 cm深度，并将土壤与探头金属表面完全均匀接触，响应时间大约10 s~20 s，仪器所显示的数字，即为实际测量值。土壤的密度会直接影响测量精度，因而需在不同的位置进行多次测量，以求平均值。精度更低一些的土壤因子数据亦可通过中国土壤科学数据库(<http://vdb3.soil.csdb.cn/>)等在线公开数据库下载获得。最后依据原始土壤因子数据，通过空间插值方法获得研究区域内空间上连续的栅格数据。

6.2.2.5 植被因子获取

植被因子中植被类型数据可参考《中国植被分类系统修订方案》的植被分类系统、植被类型划分及编排体系，在地面调查中根据群落外貌和样地调查获得植被类型。具体参考《生态系统类型划分技术规

程(草案)》。此外,可利用例如Landsat卫星(Landsat TM, ETM+和OLI)遥感数据,获得目标区域与目标时段植被类型分布数据产品和归一化植被指数(NDVI)。

6.2.2.6 人为干扰因子获取

可通过实地调查评估范围内各道路和水域等的人员流动、居民点的实际人口,利用GIS软件计算目标区域离邻近道路、水域、居民点的直线距离。而土地利用类型数据。依据航片、卫星遥感信息,结合野外实调资料,参照有关地理图件,提取地物的几何形状、颜色特征、纹理特征和空间分布情况等信息,获得土地利用类型数据。

6.3 内业分析处理

6.3.1 物种分布数据预处理

收集得到物种分布数据后,若分布点信息过分重叠,为避免预测结果过度拟合,可利用ArcGIS插件“物种分布模型工具包(SDM Toolbox)”中的空间稀疏工具(spatially rarefy occurrence data for SDMs),对原始分布点进行空间稀释,合并空间距离小于5m的分布点,保证物种分布样本点的独立性。将物种空间分布数据整理为CSV格式(逗号分隔值文件格式),数据分为三列,依次为物种名、经度、纬度。若原经纬度坐标为度分秒格式,则还应转换为十进制格式。

6.3.2 生境因子融合

6.3.2.1 建模所需的生境因子数据获取方式包括但不限于:地面调查、文献资料查阅、在线数据库数据下载、软件计算转化。

6.3.2.2 在 ArcGIS 软件中将生境变量图层栅格大小统一重采样为一个固定的大小,将图层边界统一,并将投影坐标系统一为对应区域的 UTM 投影,然后将所有生境变量图层转化为建模需要的 ASCII 格式文件。

6.3.2.3 所有数据文件应有一致的地理边界和相同的网格大小,保证所有文件的行列应完全匹配。

6.3.3 生境因子筛选

对生境变量进行筛选,使用Pearson皮尔逊相关性分析,筛除相关系数绝对值大于0.8的生境变量。

6.3.4 MaxEnt 物种分布模型构建

通过相关软件构建MaxEnt物种分布模型,运行程序后获取模型输出结果。

6.3.5 生境适宜性评价

6.3.5.1 MaxEnt 软件输出的预测结果为 ASCII 格式的栅格图层,默认平均生境适宜度指数范围为 0~1,数值越大适宜性越强。使用 GIS 软件对其结果进行可视化表达和重分类,对研究区域进行分级,可分为最适宜生境、次适宜生境、较不适宜生境和不适宜生境四类。

6.3.5.2 重分类的分类阈值可在 ArcGIS 软件中使用自然间断点分级法(Jenks)计算,该方法可对相似值进行最恰当地分组,并可使各个类之间的差异最大化。同时可参考 MaxEnt 模型输出结果中的模型最大训练敏感性和特异性(Maximum training sensitivity plus specificity, MTSS),最大约登指数(Youden's index),平衡训练遗漏率、预测面积及阈值(balance training omission, predicted area and threshold value, TPT)以及实际分布区和野外调查结果,设定合适的分类阈值。

6.3.5.3 根据重分类结果绘制出研究区域的物种生境适宜性评价地图,为不同物种的分类保护提供直接清晰的空间信息支撑。

7 物种生境适宜性评价成果

7.1 成果类型

7.1.1 图件成果包括但不限于:区域内物种生境适宜性评价地图,物种分布与不同生境因子的响应曲线等。

7.1.2 表格成果包括但不限于：区域内物种最适宜生境、次适宜生境、较不适宜生境和不适宜生境面积大小表，各生境变量对模型的相对贡献率表等。

7.2 数据格式

除文字和表格外，其他空间数据需转换为GEOTIFF格式或SHIPE矢量数据格式。

8 质量控制

8.1 外业质量控制

实行调查单位自查和相关质检组检查，并随机选取10 %左右调查线路，采用原物种分布调查和生境测量方法进行检查。

8.2 内业质量控制

8.2.1 针对物种生境适宜性评价完成后的最终成果，实行自检、互检、技术负责人检查的方法，检查物种分布模型构建是否出现偏差，确保成果质量的稳定性。

8.2.2 可采用受试者工作特征曲线(ROC)进行物种分布模型验证，并利用 ROC 曲线下面积(AUC)作为模型评价的指标。

8.2.3 可采用交互验证进行物种分布模型验证，物种分布数据被随机分为若干个大小相同的组，称做“folds(折叠)”，模型创建时会依次留下每个折叠，可用于评价。

附录 A
(资料性)
地面调查记录表

物种分布调查记录表和生境测量记录表见表A.1~A.2。

表 A. 1 物种分布调查记录表

调查人:	记录人:	调查日期:	年	月	日	页码:
序号	物种名	地理坐标		海拔(m)	备注	
		E	N			
01						
02						
03						
04						
05						
06						
07						
08						
09						
10						
11						
12						

物种分布调查记录表填表说明:

a.调查人、记录人: 调查样地的测量人员和记录人员;

b.调查日期: 调查样地的日期, 记录方式为年/月/日;

c.物种名: 登记物种名称, 植物的名称建议采用《中国植物志》的中文名, 动物的名称建议采用《中国动物志》的中文名;

d.地理坐标: 用GPS手持机或者带GPS功能的手机记录调查植株个体所在位置的坐标经纬度, 格式为119.3428, 28.6620, 至少保留小数点后四位小数, 建议记录到六位;

e.海拔: 用GPS手持机或者带GPS功能的手机记录调查植株个体所在位置的海拔高度值, 格式为1568 m, 精确到个数;

f.备注: 备注栏目中需填写树木的状态, 分为: 断梢、枯梢、倾斜、倒伏、折断(1.3 m以上位置断裂)等。对于物种需要进一步鉴定的, 填写拍摄照片的编号和采集标本的编号。

表 A. 2 生境测量记录表

调查人:	记录人:	调查日期:	年	月	日
地理坐标:	东经:	北纬:	植被类型:		
地形因子	海拔(m):	坡度(°):	坡向(°):		
气候因子	气压(hPa):	风向(°):	风速(m/s):		
	大气温度(°C):	大气湿度(%RH):			
土壤因子	土壤类型:	土层厚度(cm):			
	表层土壤温度(°C):	表层土壤湿度(%):			

生境测量记录表填表说明:

a.调查人、记录人: 调查样地的测量人员和记录人员;

b.调查日期: 调查样地的日期, 记录方式为年/月/日;

c.地理坐标: 用GPS手持机或者带GPS功能的手机记录调查植株个体所在位置的坐标经纬度, 格式为119.3428, 28.6620, 至少保留小数点后四位小数, 建议记录到六位;

d.植被类型: 根据群落外貌填写调查样地的植被型, 按照《中国植被分类系统修订方案》的划分标准;

e.海拔: 用GPS手持机或者带GPS功能的手机记录调查植株个体所在位置的海拔高度值, 格式为1568 m, 精确到个数;

f.坡度: 样地所在坡面的坡度, 用激光测距仪或者带水平仪功能的手机测量, 单位为角度, 记为0°~90°;

- g. 坡向：样地所在坡面朝向的方位角，用指北针或者带指北针功能的手机测量，单位为度，记为 $0^{\circ}\sim 359^{\circ}$ ；
- h. 气压：使用便携式小型气象站测量，单位为百帕，精确到小数点后一位；
- i. 风向：使用便携式小型气象站测量，单位为角度，记为 $0\sim 360^{\circ}$ ，精确到个位数；
- j. 风速：使用便携式小型气象站测量，单位为米每秒，精确到小数点后一位；
- k. 大气温度：使用便携式小型气象站测量，单位为摄氏度，精确到小数点后一位；
- l. 大气湿度：使用便携式小型气象站测量，单位为%RH(Relative Humidity相对湿度)，记为 $0\sim 100\%RH$ ，精确到小数点后一位；
- m. 土壤类型：按照《浙江省第二次土壤普查土壤分类系统表》(1985)的土壤分类系统，记录调查样地的土类；
- n. 土层厚度：使用土壤深度测量仪测量，单位为厘米，精确到小数点后一位；
- o. 表层土壤温度：使用土壤三参数测定仪测定，单位为摄氏度；
- p. 表层土壤湿度：使用土壤三参数速测仪测量，单位为%，记为 $0\% \sim 100\%$ ，精确到小数点后两位。

参 考 文 献

- [1] 刘红彩, 赵纳勋, 庄钰琪等. 基于MaxEnt模型的秦岭山地斑羚生境适宜性评价[J]. 生态学报, 2022, 42(10):4181-4188.
- [2] 王鑫, 任亦钊, 黄琴等. 基于GIS和Maxent模型的赤水河地区濒危植物桫欏生境适宜性评价[J]. 生态学报, 2021, 41(15):6123-6133.
- [3] 杨彪, 张全建, 王彬等. 基于MaxEnt模型的雅砻江冬麻豆生境适宜性评价[J]. 生态学报, 2020, 40(17):6077-6085.
- [4] Liu C., Newell G. and White M., On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence - only data. Ecology and Evolution, 2015, 6(1):337-348.
- [5] Steven J.P., Robert P.A. and Robert E.S., Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3-4):231-259.
-